

КРИСТАЛЛОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ И ПРИРОДА ОКРАСКИ САПФИРОВ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НАРЫН-ГОЛ (БУРЯТИЯ)

Сотникова В.Ф.¹, Николаев А.Г.¹, Кислов Е.В.^{2,3}, Вантеев В.В.^{2,3}, Асеева А.В.⁴

¹Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, vasilina0917@gmail.com

²Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ, evg-kislov@ya.ru

³Бурятский государственный университет, г. Улан-Удэ

⁴Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, г. Владивосток, aseeva@fegi.ru

Цель данной работы – изучение природы окраски сапфиров с месторождения Нарын-Гол. Сапфир входит в группу ювелирных камней, который обладает ярким глубоким синим цветом и высокой твердостью. Данная разновидность относится к минеральному виду – корунду. Корунд является тригональной модификацией кристаллического глинозема – $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$. Обычные примеси – Cr, Fe, Ti, Mn, Ni, V и др. Кристаллическая структура корунда представляет собой полнейшую гексагональную упаковку из анионов O^{2-} , в которой две трети октаэдрических пустот заняты ионами Al^{3+} . Октаэдрические слои расположены таким образом, что в вытянутых вдоль оси С цепочках из октаэдров чередуются два заполненных октаэдра и один пустой [Платонов, 1984]. Месторождения благородного корунда разнообразны по происхождению. Выделяют магматические (в щелочных базальтах и лампрофирах), контактово-метасоматические (эндокарновые в мраморах и плагиоклазитовые в мафит-ультрамафитах), метаморфогенные и россыпные месторождения. Главная роль в добыче ювелирных рубинов и сапфиров играют элювиальные (остаточные), элювиально-делювиальные (склоновые) и аллювиальные россыпи, образовавшиеся за счет магматических и контактово-метасоматических коренных источников [Киевленко, 2001].

Сапфиры для исследований отбирались с аллювиальных отложений р. Нарын-Гол. В геологическом плане данная территория представлена метаморфизованными осадочными породами верхнего ордовика Джидинской свиты (O_3Dz) и эффузивными образованиями состоящих из лавовых потоков и покровов вулканитов базальт-трахибазальтов неоген-четвертичного возраста ($\beta\text{N}_2\text{-Q}_1$). Наибольшее распространение и исследуемой территории имеют голоцен-четвертичные аллювиально-делювиальные отложения (Q) [Асеева, 2018].

Оптические спектры сапфиров записывались на стандартизированном спектрофотометре МСФУ-К. Регистрация оптических спектров поглощения производилась в интервале длин волн 400 – 800 нм, с шагом 1 нм. Для объективного измерения и описа-

ния окраски корундов была использована методика расчета координат цветности по международной колориметрической системе XYZ. Все колориметрические результаты по интерпретации оптических спектров поглощения минералов были вынесены на стандартный цветовой треугольник международной комиссии по освещению (МКО-1931). Колориметрические параметры исследуемых минералов (x, y, z – коэффициенты цветности; λ – длина волны, ρ – плотность, L – яркость основного цветового тона) рассчитывались с использованием специализированной программы «Спектр», за основу расчетов брался источник света D65. Оптические спектры поглощения записывались с плоскопараллельных препаратов, запись спектров проводилась в обычном и поляризованном свете. Все экспериментальные исследования проводились при комнатной температуре.

В видимом диапазоне наблюдаются несколько типов различных групп полос поглощений. По результатам анализов оптических спектров поглощения сапфиров они были выделены в две различные группы. Одна группа сапфиров имеет зеленый цвет с голубым оттенком, а вторая группа – яркий синий цвет. Химический анализ данных сапфиров показал, что в нем хромофором может быть исключительно железо [Асеева, 2018].

Оптические спектры поглощения первой группы имеют линии поглощения на длинах волн 455 и 575 нм (рис. 1). При интерпретации природы полосы поглощения на длине волны 455 нм были сделаны расчеты электронных переходов по диаграмме Танабе-Сугано конфигурации ионов системы d^5 в октаэдрическом поле для Fe^{3+} . Результаты анализа показали, что данная полоса поглощения на длине волны 455 нм связана со спин-запрещенным переходом ${}^6\text{A}_1 \rightarrow {}^4\text{A}_1, {}^4\text{E}$ (${}^4\text{G}$) в электронной d-оболочке ионов Fe^{3+} [Платонов, 1984; Burns, 1993]. В районе 575 нм наблюдается широкая интенсивная полосы поглощения, которая меняет интенсивность от направления поляризованного света и в этом случае данная полоса поглощения связана с механизмом переноса заряда, которая имеет природу $\text{Fe}^{3+}\text{--Fe}^{3+}$.

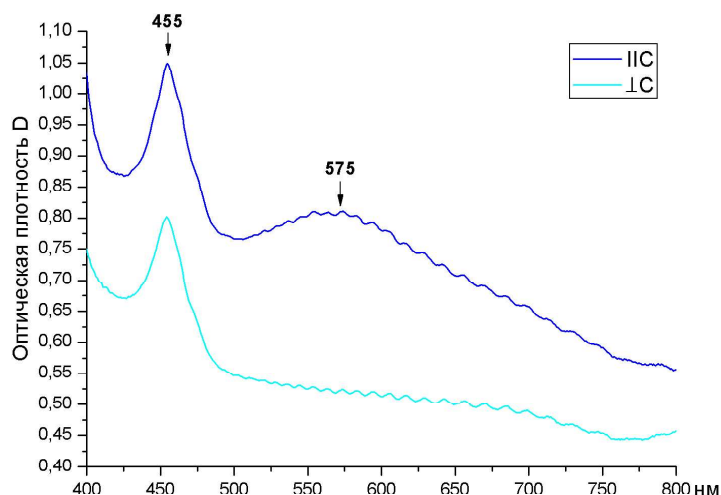


Рис. 1. Оптические спектры поглощения зеленых сапфиров с голубым оттенком

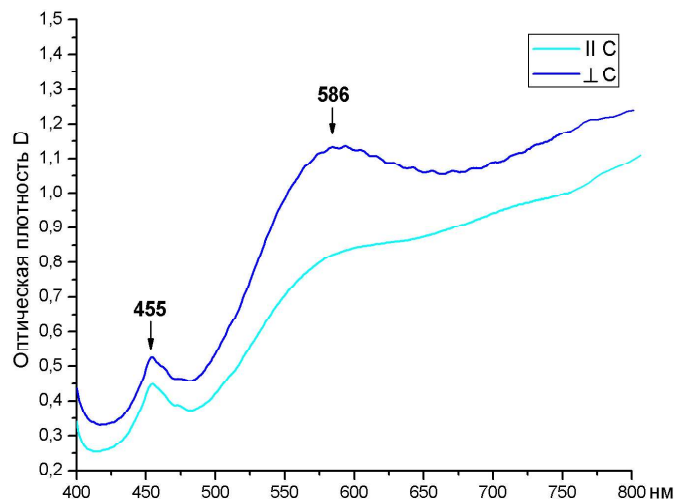


Рис. 2. Оптические спектры поглощения синих сапфиров

Данная линия имеет максимум поглощения при поляризации света вдоль оси C, что не противоречит с более ранними работами по исследованию окраски сапфиров [Платонов, 1984].

Оптические спектры поглощения второй группы имеют аналогичные по природе линии поглощения на длинах волн 455 и 586 нм (рис. 2). В отличие от первой группы спектров, в данной группе длинноволновая часть спектра имеет резкий подъем в ближней инфракрасной области и выходит за рабочие пределы прибора. По анализу литературных источников в области 870-880 нм в сапфирах присутствует интенсивная линия переноса заряда $\text{Fe}^{2+}-\text{Fe}^{3+}$, из этого можно предполагать, что яркая синяя окраска в сапфирах этого типа связана с появлением в структуре корунда ионов Fe^{2+} , а при более окислительных обстановках минералообразования ионы железа окисляются до трехвалентного состояния, что и приводит к образованию интенсивного зеленого оттенка в сапфирах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Асеева А.В., Кислов Е.В., Высоцкий С.В., Веливецкая Т.А., Игнатьев А.В. Сапфиры Нарын-Гол (Джидинское вулканическое поле, Бурятия): минеральные ассоциации и изотопные характеристики // Геодинамика и минерагения Северной и Центральной Азии: материалы V Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 45-летию Геологического института СО РАН. 2018. С. 34-36.
2. Киевленко Е.Я. Геология самоцветов. М.: Земля, 2001. 582 с.
3. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. М., Недра, 1984. 196 с.
4. Burns R.G. Mineralogical Applications of Crystal Field Theory. Cambridge University Press, 1993. 551 p.